

令和元年6月17日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16H03857

研究課題名(和文)窒素極性窒化物半導体による二次元電子ガス発生構造の成長技術

研究課題名(英文) Crystal Growth of N-polar Nitride Semiconductor Heterostructures with Two-Dimensional Electron Gas

研究代表者

松岡 隆志 (Matsuoka, Takashi)

東北大学・金属材料研究所・教授

研究者番号：40393730

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,500,000円

研究成果の概要(和文)：研究目的は、青色LEDで知られる窒化物半導体において、高周波動作を可能にするN極性(逆)HEMTを作製することである。課題は、成長中に膜中に取り込まれる炭素と酸素の低減である。原料輸送ガス中の水素割合の増加による炭素取り込み減少と、窒素原料であるアンモニアとGa原料の供給比増大による酸素取り込み低減を示した。さらに、GaN/GaN/GaN逆HEMT構造においてはc面から0.8°傾けたサファイア基板上に平坦に成長できた。その二次元電子ガス特性はGa極性と同程度であった。HEMTにおいては、結晶方位に依存しない三極管特性を確認できた。この結果は、本技術が素子作製に有効であることを示している。

研究成果の学術的意義や社会的意義

窒化物半導体素子にはGa極成長が用いられている。窒化物半導体に存在する分極が素子特性を決定する。現状の携帯電話の基地局用高移動度電子トランジスタはGaN/GaN/基板の積層構造からなる。結晶極性にGa極性を用いているため、金属電極を広ギャップ半導体GaNに形成する必要があり、接触抵抗が大きくなり、現より一桁周波数の高い次世代の携帯電話には対応できない。Ga極性と逆の窒素極性を用いると、層構造を反転でき、金属電極の接触抵抗を低減でき、高周波動作が可能となる。本研究の学術的意義としては、成長機構解明の発展と、インジウムを含む材料の組成域拡大である。これらの点の学術的意義は計り知れない。

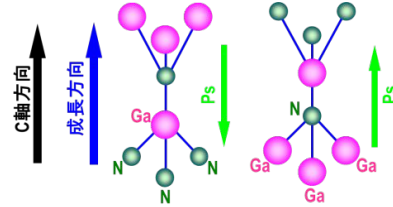
研究成果の概要(英文)：In nitride semiconductors famous for blue LEDs, the author proposed in 2006 that the nitrogen-polar growth was effective for devices. The purpose of this research is to reduce both concentrations of carbon and oxygen, which are said to be highly incorporated during the epitaxial growth. Both concentrations of carbon and oxygen have been reduced by increasing the concentration of hydrogen in the carrier gas and the source supply ration of ammonia to Ga source, respectively. GaN/GaN/GaN inverted HEMT structure with a flat surface can be successfully grown by introducing a sapphire substrate with off angle of 0.8 deg. from c-plane. The characteristics of its two-dimensional electron gas was almost the same as a Ga-polar HEMT. This HEMT showed triode characteristics and the pinch-off operation. These results reveal that the growth technique developed here is effective for the fabrication of inverted HEMTs.

研究分野：半導体

キーワード：窒化物半導体 極性 有機金属気相成長 分極効果 HEMT

1. 研究開始当初の背景

窒化物半導体における窒素の気相固相間の平衡蒸気圧は、GaAs や InP などの材料の V 族元素の蒸気圧と比較して極めて高い[1]。中でも InN の蒸気圧は特に高い。素子応用上で、成長できる InGaAlN の組成域 (混和領域) が広いことが望ましい。LED の発光層に用いられている InGaN は、1989 年の申請者の報告以来、一般に 800 程度で成長されている[1]。InGaN は、青色発光領域では混和しているが、緑色領域では相分離している[2]。素子作製上、混和領域を拡大する必要がある。そのポイントは N 原子の取り込み効率の向上にある。その手段として、図 1 に示す結晶極性の利用が考えられる。N 原子 1 個は、Ga 極性成長では Ga 原子 1 個で捕獲されるのに対して、N 極性成長では Ga 原子 3 個で捕獲される。その結果、N 極性成長の方が、N 原子を捕獲しやすく In 混晶組成の拡大を望むことができる[3]。実際、N 極性成長の LED において、波長 830nm の発光を確認している[4]。さらに、窒化物半導体では c 軸方向に分極電界が存在し、その方向は極性に依存し、素子特性に大きく影響する。例えば、太陽電池では、N 極性では、Ga 極性に較べて、フォトキャリアの取り出し効率の向上が予想されており[5]、実験的にも確認できている[6]。高電子移動度トランジスタ (HEMT) においては、キャリア供給層と電子走行層の積層順を逆転でき、低い on 抵抗と normally-off 動作の実現を予想できる[7]。高出力用に膜厚方向に電流を流す縦型トランジスタでは、HVPE で成長される GaN 自立基板を必要とするが、その大面積化と低コスト化を期待できる。N 極性成長には上述のように種々の期待があるが、成長機構や結晶の特長は明らかにされていない。そのため、素子応用上多くの利点がありながら、多くの研究機関で N 極性成長を実現できていないと思われる。以上のことから、MOVPE 成長における成長機構を詳細に解明し、各種組成の薄膜結晶やヘテロ接合の成長技術を確立することは、窒化物半導体分野の今後の発展につながる。



(a) Ga(+C)極性 (b) N(-C)極性
図 1. 極性 (自然分極: Ps)

本研究に関連する国内外の研究動向及び位置づけ

N 極性 GaN 成長は 1998 年から試みられていたが、成功していなかった[8]。申請者は、MOVPE 法によって、表面が鏡面で、結晶性も Ga 極性と遜色ない GaN 成長に 2006 年に成功し、GaN において難しいとされている p 型化も実現している[3]。N 極性成長を追試できているのは、カリフォルニア大学サンタバーバラ校だけである[9]。さらに、InGaN を発光層とする LED は、世の中は黄色までしか発光していないのに対して、申請者は赤色発光を実現している[4]。さらに、太陽電池におけるフォトキャリアの取り出しについては、世界に先駆けて一桁近く高い効率も示している[5]。以上述べたように、N 極性に関する研究は、申請者を除き、ほとんどなされていないのが現状である。

本研究の着想に至った経緯

ウルツ鉱型結晶における極性の重要性については、窒化物半導体研究を開始した 1987 年から着想し、SiC 基板上への GaN 成長によって極性の重要性を 1988 年に確認した[10]。さらに、青色 LED 用の世界で最初の InGaN 単結晶成長の実現段階[1]において、In の取り込み効率の向上のためには、N 極性が有利であるとの認識に至っていた。さらに、ウルツ鉱型結晶では、c 軸方向に分極が存在することから、素子作製において、Ga 極性ばかりではなく、N 極性の結晶も扱える方が素子設計上有効であると考えていた[3]。従来研究においては Ga 極性成長しかなく、N 極性成長の議論は皆無であった。この N 極性の利点を素子応用および GaN 自立基板作製に具体的に活かすために、本研究の着想に至った。

2. 研究の目的

青色 LED を構成する窒化物半導体 InGaAlN は、ウルツ鉱型結晶構造を有する。市販 LED 等の結晶は、通常、c 軸に垂直な方向に成長されている。このとき、結晶には極性が存在し、この極性が結晶中の分極電界の方向や In の取り込み効率を左右し、結果的に結晶特性や素子特性を決定づける。Ga 極性成長が一般に行われているが、申請者は、N 極性成長を提案し、2006 年には N 極性 GaN 成長を実現している。本研究では、赤色 LED を目指した高 In 組成 InGaN、高周波動作の期待されている逆 HEMT 構造、フォトキャリアの高い引き出し効率の期待されている太陽電池、および、安価な GaN 自立基板の実現を狙いとして、有機金属気相成長 (MOVPE) による各種組成の単層の積層技術およびヘテロ接合成長の実現を目的とする。

表 1 HEMT 構造の極性比較

極性	Ga 極性	N 極性
	HEMT 逆HEMT	
HEMT 構造 2次元電子ガス	AlGaIn InGaIn Ga	InGaIn AlGaIn Ga
	← 高温成長材料	→ 低温成長材料
作製プロセス	× (困難)	○ (容易)
界面特性	× (急峻性がない)	○ (急峻)
トランジスタのオン時の抵抗	× (高い)	○ (低い)
トランジスタのオフ時の特性	× (ノーマリー・オン)	○ (ノーマリー・オフ)

3. 研究の方法

MOVPE 成長によるヘテロ構造成長

- ・表 1 に示した HEMT 構造の作製を主眼におき、N 極性 GaN の高品質化とその上への高品質 AlGaIn の成長技術の確立
- ポイント：表面形態、結晶品質および残留キャリア濃度
- ・AlGaIn 上への InGaIn 成長
- ポイント：キャリア濃度低減、界面の平坦性と二次元電子ガスの電気的特性

(1) 平成 28 年度の計画

N 極性 GaN の高品質化 成長条件の最適化による残留キャリア濃度低減: 目標 $10^{17}/\text{cm}^3$ 以下。
成長法には、サファイアなどの基板上に GaN 成長する場合に一般的に用いられる二段階成長法を用いる。N 極性成長の特徴は、図 2 に示すサファイア表面の窒化である。この窒化によって、極性を決定することができる。

- ・窒素原料としてのアンモニア流量：表面平坦性を維持しながら窒素空孔の低減
- ・成長温度：表面平坦性の促進と再蒸発の抑制
- ・水素流量：アンモニアの分解を妨げることなく、カーボンの取り込み低減

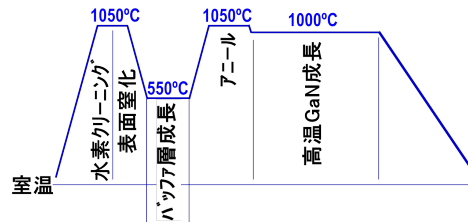


図2 サファイア基板上への二段階成長手順

- ・Ga₂O₃ 上への高品質 AlGa₂O₃ の成長技術の確立
- ・成長温度：供給原料間の気相中での反応抑制とステップフロー成長の促進
- ・アンモニア流量：表面平坦性を維持しながら窒素空孔の低減

InGa₂O₃/AlGa₂O₃ の成長機構に関するシミュレーション

申請者の所属する金属材料研究所の全国共同利用拠点としての共同研究の一環として、連携研究者（寒川義裕准教授、九州大学）とはすでに連携して研究している。その中で、一部のシミュレーションプログラムも完成し、申請者と共著で発表を出している[6]。実験結果を寒川グループに提供し、シミュレーションすることによって、原子オーダーで平坦な界面を得ることのできる成長機構および成長条件を見出す。さらに、その結果を結晶成長に反映し、より高品質の結晶を得ることを目指す。

(2) 平成29年度の計画

28年度に成長技術を確認した AlGa₂O₃ 上へ InGa₂O₃ を成長し、両層の界面に生じる二次元電子ガスの特性向上を図る。

AlGa₂O₃ テンプレート上における InGa₂O₃ 成長条件の最適化による表面平坦性と結晶性の確保。ここでは、高温成長材料である AlGa₂O₃ 薄膜上に低温成長材料である InGa₂O₃ を成長するため、AlGa₂O₃ の結晶性を損なわずに InGa₂O₃ を成長できると考えられる。界面平坦性を実現するためには、InGa₂O₃ 成長開始直前の成長雰囲気調整が重要と考えられる。

InGa₂O₃/AlGa₂O₃ 界面の二次元電子ガス：移動度 3,000cm²/Vs を目標とする。

- ・界面平坦性と組成変化の急峻性を有する構造について、透過型電子顕微鏡（連携研究者 今野豊彦 東北大学 金属材料研究所 教授）などを用いて評価しながら成長技術を確認する。
- ・電気的特性として、二次元電子ガスの移動度の目標値の達成を目指す。
- ・InGa₂O₃ における In 組成および AlGa₂O₃ における Al 組成と、二次元電子ガスの移動度との関係を明らかにする。

(3) 平成30年度の計画

29年度までに確立した技術を用いて、高品質結晶の成長期待できる ScAlMgO₄ (SCAM) や GaN 自立基板を新たに導入し、InGa₂O₃/AlGa₂O₃ からなる HEMT 構造の高品質化を図る。SCAM 基板の GaN に対する格子不整合は 1.8% であり、サファイアの 13.8% に比べて一桁近く小さい。この基板は、申請者と共同で福田承生 東北大 金研 名誉教授が開発し、既に LED を作製し、SCAM 基板の有用性を報告している[7]。この SCAM の導入によって、従来から報告されている GaN 自立基板上の AlGa₂O₃/GaN 構造の二次元電子ガスの移動度より遙かに高い値を目指す。

本基板導入に当たっての技術開発項目。

- ・N 極性成長法
サファイア基板上成長と同様に通常の成長法で成長した GaN は、Ga 極性となる。サファイア基板上で N 極性成長するときには窒化処理を用いているが、N 極性成長が可能となる同様の技術を SCAM 基板について開発する。
- ・GaN より高温成長材料である AlGa₂O₃ 成長のための基板保護技術
SCAM 基板は、サファイアに比べて MOVPE 成長雰囲気（水素とアンモニア）に耐性がない。そのため、基板をこれらの環境から保護する必要がある。この点に関しては、既に、基板裏面および基板側面について保護膜形成技術を確認している。さらに、SCAM 上に GaN 成長後 AlN 薄膜を一層形成することによって、SCAM 基板の構成元素の一つである Mg の拡散を防止できる技術も確立している。GaN より成長温度の高い AlGa₂O₃ 成長においても、これらの技術の有用性を確認する。

SCAM 基板導入によって期待される結晶性および電気的特性の評価

- ・高温成長材料 AlGa₂O₃ による基板からの Mg 拡散の影響
- ・格子不整合の縮小による結晶性：転位密度の減少（約二桁）と歪みの改善
- ・InGa₂O₃/AlGa₂O₃ の二次元電子ガスの移動度：
従来の AlGa₂O₃/GaN より遙かに高い移動度を期待できる。

表2 研究線表

項目	H28 上期	H28 下期	H29 上期	H29 下期	H30 上期	H30 下期
・N 極性 GaN の高品質化						
・GaN 上への高品質 AlGa ₂ O ₃ 成長技術						
・AlGa ₂ O ₃ テンプレート上 InGa ₂ O ₃ 成長						
・InGa ₂ O ₃ /AlGa ₂ O ₃ 界面の二次元電子ガス						
・SCAM 基板導入						
・InGa ₂ O ₃ /AlGa ₂ O ₃ 成長機構のシミュレーション						
・論文または学会への投稿		▲	▲	▲	▲	▲

参考文献

- [1] T. Matsuoka, H. Tanaka, T. Sasaki, and K. Katsui, "Wide-Gap Semiconductor (In, Ga)N", in Inst. Phys. Conf. Ser., 106, pp. 141-146 (1990).
- [2] T. Matsuoka, "Phase Separation in Wurtzite $\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{Al}_y\text{N}$ ", MRS Internet J. Nitride Semicond. Res. 3, 54 (1998).
- [3] T. Matsuoka, T. Mitate, H. Takahata, S. Mizuno, Y. Uchiyama, A. Sasaki, M. Yoshimoto, T. Ohnishi, and M. Sumiya, "N-Polarity GaN on Sapphire Substrate Grown by MOVPE", phys. stat. sol. (b), 243, No.7, pp. 1446-1450 (2006).
- [4] K. Shojiki, T. Tanikawa, J. H. Choi, S. Kuboya, T. Hanada, R. Katayama, and T. Matsuoka, "Red to Blue Wavelength Emission of N-polar (0001) InGaN Light-Emitting Diodes Grown by Metalorganic Vapor Phase Epitaxy", Appl. Phys. Express 8, 6, 061005 (2015).
- [5] S. Inoue, M. Katoh, A. Kobayashi, J. Ohta, and H. Fujioka, "Investigation on the Conversion Efficiency of InGaN Solar Cells Fabricated on GaN and ZnO Substrates", Phys. Stat. Sol., RRL 4, 3-4, pp. 88-90 (2010).
- [6] T. Tanikawa, J. H. Choi, K. Shojiki, R. Katayama, and T. Matsuoka, "Demonstration of N-Polar InGaN/GaN MQW Solar Cells with Possibility of Promoting Photocarrier Extraction", 6th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion (WCPEC-6), 1TuPo.2.16 (Kyoto, Japan, November 23-27, 2014).
- [7] M. H. Wong, S. Keller, Nidhi, S. Dasgupta, D. J Denninghoff, S. Kolluri, D. F Brown, J. Lu, N. A. Fichtenbaum, E. Ahmadi, U. Singiseti, A. Chini, S. Rajan, S. P. DenBaars, J. S. Speck, and U. K. Mishra, "N-Polar GaN Epitaxy and High Electron Mobility Transistors", Semicond. Sci. Technol. 28, 074009 (2013).
- [8] E. S. Hellman, "The Polarity of GaN: a Critical Review", MRS Internet J. Nitride Semicond. Res. 3, 11 (1998).
- [9] S. Keller, N. A. Fichtenbaum, F. Wu, D. Brown, A. Rosales, S. P. DenBaars, J. S. Speck, and U. K. Mishra, "Influence of the Substrate Misorientation on the Properties of N-Polar GaN Films Grown by Metal Organic Chemical Vapor Deposition", J. Appl. Phys., 102, 083546 (2007).
- [10] T. Sasaki and T. Matsuoka, "Substrate-Polarity Dependence of Metal-Organic Vapor-Phase Epitaxy-Grown GaN on SiC", J. Appl. Phys., 64, 9, pp. 4531-4535 (1988).

4. 研究成果

GaN と組み合わせたヘテロ構造を用いて、2次元電子ガスを発生させて HEMT を作製することを考えて、高 InN モル分率の InGaN および InAlN の成長に有利な N 極性成長と、並行して N 極性 HEMT を作製しその特性の評価を行った。下記に主な研究成果を述べる。

・ N 極性 GaN 中の不純物低減 (発表論文)

N 極性成長 GaN においては、炭素と酸素の取り込みが多いと言われている。成長条件とそれらの濃度との関係を調べ、水素と窒素からなる原料供給用のキャリアガスの水素の割合の増加に伴って炭素の取り込みが減少することを明らかにした。水素と炭素との反応によってメタンが生成し、炭素が成長雰囲気から取り除かれるためと考えられる。酸素の取り込みの低減には、窒素原料ガスであるアンモニアと Ga 原料の供給比 V/III の増大が有効であることを明らかにした。多くの窒素原料を供給することによって、N 空孔密度を低減できるためと考えられる。

・ 均一組成の InGaN 成長 (国際会議発表)

窒素蒸気圧の高い InN のモル分率の高い InGaN を成長しようとすると、相分離が起き、In リッチな微小領域が発生しやすい。高 InN モル分率の InGaN 成長に有利な N 極性 InGaN 成長を試みた。N 極性成長においても、相分離の抑制には、III 族極性と同様に、成長時における In 供給量を抑える必要があることが分かった。

・ N 極性 InAlN の成長 (国際会議発表)

InAlN に関する成長の試みは、GaN に格子整合する InN モル分率 17%以外にはほとんどない。本研究では、窒素を取り込みやすい N 極性成長によって In リッチな InAlN の成長を試みた。窒素源としてのアンモニア供給量 / III 族原料供給量と、In 原料供給量 / III 族原料供給量を制御することによって、InN モル分率として最大 35%まで得ることができた。本実験を通して、N 極性成長の可能性を確認することができた。

・ N 極性 GaN/GaAlN/GaN HEMT (発表論文)

得た成長技術を用いて、N 極性 GaN/GaAlN/GaN 構造からなる逆 HEMT をサファイア基板上に作製した。GaAlN においては、クラックを生じない程度の Al 組成 0.32 と膜厚 25nm を成長した。2次元電子ガスの濃度 $1.75 \times 10^{13} \text{cm}^{-2}$ と移動度 $1124 \text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ を得た。この値は、通常の GaAlN/GaN 構造からなる Ga 極性 HEMT と同程度である。ゲート電極構造には、ゲートリーク電流低減のため、金属-絶縁物-半導体 (MIS) 構造を採用した。サファイア基板の表面を c 面から 0.8° 傾けることによって、ステップバンチングを大幅に低減でき、結晶方位に依らない三極管特性を得ることができた。さらに、ピンチ・オフ動作も確認できた。この結果は、本研究で開発した N 極性成長技術が素子作製において有効であることを示している。

・ HEMT の逆放電圧印加下でのアニール (国際会議発表)

窒素極性 GaN 高電子移動度トランジスタ (HEMT) では MIS ゲート構造が用いられる。ゲー

ト絶縁膜や半導体との界面が、ヒステリシス等のデバイス動作不安定性をもたらす要因となる。ゲート絶縁膜と半導体との界面に存在すると考えられている膜中のイオンを排除するために、Ga 極性 HEMT に置いて用いられている手法である“ゲート電極に逆バイアスを印加した状態で長時間アニールを行う逆バイアスアニール”を試みた。その結果、窒素極性 HEMT においても、Ga 極性と同様に逆バイアスアニールによってヒステリシスの減少が確認できた。しかし、同時に Ga 極性では見られなかった最大ドレイン電流密度が低下してしまった。この原因は逆バイアスによるソース抵抗増加であり、ゲート・ドレイン間のみ逆バイアスを印可することにより電流密度の減少を阻止できた。

- ・逆バイアスアニールによって生じる最大ドレイン電流密度低減の阻止（国際会議発表）
窒素極性 GaN HEMT で逆バイアスアニールによって生じる最大ドレイン電流密度減少の原因を明らかにするため、2次元数値解析によって逆バイアス中の電位分布を計算した。窒素極性 HEMT では、半導体の最表層にチャンネル層が存在し、逆バイアス印可時にゲート脇のアクセス領域に電子が溜まりやすく、絶縁膜との界面への電子捕獲が発生しやすい状況になることを明らかになった。この結果から、表面に GaAlN キャップ層を設ける等が逆バイアスアニールによる最大ドレイン電流密度減少の抑止に有効であることを見出した。

上述の結果から、N 極性成長と N 極性 HEMT の可能性を把握することができた。今後の窒化物半導体において、得られた結果は大きな展開の可能性を示していると、考えることができる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計2件)

Kiattiwut Prasertsuk, Tomoyuki Tanikawa, Takeshi Kimura, Shigeyuki Kuboya, Tetsuya Suemitsu, Takashi Matsuoka, N-Polar GaN/AlGaIn/GaN Metal-Insulator-Semiconductor High-Electron-Mobility Transistor Formed on Sapphire Substrate with Minimal Step Bunching, Appl. Phys. Express, 査読有り, Vol. 11, 2018, 015503-1-015503-4. DOI 10.7567/APEX.11.015503

〔学会発表〕(計22件)

国際会議

Tetsuya Suemitsu, Kiattiwut Prasertsuk, Tomoyuki Tanikawa, Takeshi Kimura, Shigeyuki Kuboya, Takashi Matsuoka, "Reverse-Bias-Induced Virtual Gate Phenomenon in N-Polar GaN HEMTs", 2018 MRS Fall Meeting, EP08.08.04 (Boston, USA, Nov. 25-30, 2018).

Shigeyuki Kuboya, Kazuyo Oomura, Tomoyuki Tanikawa, Takashi Matsuoka, "Challenge to MOVPE Growth of N-Polar InAlN Film with High InN Mole Fraction", International Workshop on Nitride Semiconductors (IWN2018), J4-5 (Kanazawa, Japan, Nov. 11-16, 2018).

Tetsuya Suemitsu, Kiattiwut Prasertsuk, Tomoyuki Tanikawa, Takeshi Kimura, Shigeyuki Kuboya, Takashi Matsuoka, "Reverse Bias Annealing Effects in N-Polar GaN/AlGaIn/GaN MIS-HEMTs", Compound Semiconductor Week (CSW) 2018, Fr3B9: Nanostructures #1570454161, pp. 705-706 (Boston, May 29-Jun. 1, 2018).

Plenary Takashi Matsuoka, Shigeyuki Kuboya, Tomoyuki Tanikawa, "Growth of Indium-Including Nitride Semiconductors", 19th International Conference on Metalorganic Vapor Phase Epitaxy (ICMOVPE- XIX), 7A-1.1 (Nara, Japan, Jun. 3-8, 2018).

Plenary Takashi Matsuoka, "Research on Nitride Semiconductors from the Dawn, through the Present, to the Future", International Conference on Solid State Devices and Materials 2017 (SSDM 2017), (Sendai, Japan, Sept. 20, 2017).

Kiattiwut Prasertsuk, Tomoyuki Tanikawa, Takeshi Kimura, Tetsuya Suemitsu, Takashi Matsuoka, "N-Polar GaN/AlGaIn/GaN MIS-HEMTs on Sapphire Substrates with Small Off-Cut for Flat Interface by MOVPE", Compound Semiconductor Week (CSW2017), P1.43 (Berlin, Germany, May14-18, 2017).

Plenary Takashi Matsuoka, "Current Status and Future Prospects of Nitride Semiconductors for Energy Saving", International Workshop on Advanced Functional Materials and Devices (IWAfMD2017), 3 (Manonmaniam Sundaranar University, Tirunelveli, India, Jan. 8-12, 2017).

Ryohei Nonoda, Tomoyuki Tanikawa, Kanako Shojiki, Takeshi Kimura, Shinji Tanaka, Shigeyuki Kuboya, Takashi Matsuoka, "Improvement of Homogeneity in N-Polar (0001) InGaIn Grown by Metalorganic Vapor Phase Epitaxy", International Workshop on Nitride Semiconductors (IWN2016), A2.9.04 (Orland, USA, Oct. 2-7, 2016).

Tomoyuki Tanikawa, Shigeyuki Kuboya, Takashi Matsuoka, "Control of Impurity Concentration of Undoped N-Polar (0001) GaN Grown by Metalorganic Vapor Phase Epitaxy", International Workshop on Nitride Semiconductors (IWN2016), A2.9.03 (Orland, USA, Oct. 2-7, 2016).

Key Note Takashi Matsuoka, Takeshi Kimura, Tomoyuki Tanikawa, Shigeyuki Kuboya, Tetsuya Suemitsu, "Polarity in the Growth of Nitride Semiconductors", Collaborative Conference on Crystal Growth (EMN 3CG), 1 (San Sebastian, Spain, Sept. 4-8, 2016).

Kiattiwut Prasertsuk, Shinji Tanaka, Tomoyuki Tanikawa, Kanako Shojiki, Takeshi Kimura, Akinori Miura, Ryohei Nonoda, Fuyumi Hemmi, Shigeyuki Kuboya, Ryuji Katayama, Tetsuya Suemitsu, Takashi Matsuoka, "MOVPE Growth of N-Polar GaN/Al_xGa_{1-x}N/GaN Heterostructure on Small Off-Cut Substrate for Flat Interface", Compound Semiconductor Week (CSW2016), WeB1-3 (Toyama, Japan, June 26-30, 2016).

Tomoyuki Tanikawa, Kiattiwut Prasertsuk, Akinori Miura, Shigeyuki Kuboya, Ryuji

Katayama, Takashi Matsuoka, "Influence of Growth Conditions on Transport Properties in Undoped N-Polar (0001) GaN Grown by Metalorganic Vapor Phase Epitaxy", 4th International Conference on Light-Emitting Devices and their Industrial Applications (LEDIA '16), LED3-6 (Yokohama, Japan, May 18-20, 2016).
Ryohei Nonoda, Tomoyuki Tanikawa, Kanako Shojiki, Takeshi Kimura, Shinji Tanaka, Shigeyuki Kuboya, Takashi Matsuoka, "Group-III Source Ratio Dependence on Photoluminescence Properties of N-Polar (0001) InGaN Grown by Metalorganic Vapor Phase Epitaxy", Summit of Materials Science (SMS 2016), P47 (Tohoku Univ., Japan, May 18-20, 2016).

国内会議

招待講演 松岡隆志, 谷川智之, 窪谷茂幸, "MOVPE による窒素極性窒化物半導体成長", 第 47 回結晶成長国内会議, 31p-C01 (仙台復興記念館, 2018 年 10 月 31 日).
未光哲也, Kiattiwut Prasertsuk, 谷川智之, 木村健司, 窪谷茂幸, 松岡隆志, "窒素極性 GaN MIS-HEMT における逆バイアスアニールの効果", 第 79 回応用物理学会秋季学術講演会講演会, 21a-331-2 (名古屋国際会議場, 2018 年 9 月 18~21 日).
Shinji Tanaka, Kiattiwut Prasertsuk, Takeshi Kimura, Tomoyuki Tanikawa, Tetsuya Suemitsu, Takashi Matsuoka, "Surface-Roughness Improvement and Electrical Properties in N-Polar InGaN/GaN HEMT Structures Grown by Metalorganic Vapor Phase Epitaxy", 36th Electron. Mat. Symp., Fr1-13 (長浜, 2017 年 11 月 10 日).
ブラスラットスック・キャッティウット, 谷川智之, 木村健司, 窪谷茂幸, 未光哲也, 松岡隆志, "リセス MIS ゲート N 極性 GaN HEMT のしきい値電圧の制御", 第 78 回応用物理学会秋季学術講演会講演会, 7p-S22-8 (福岡国際会議場, 2017 年 9 月 5~8 日).
招待講演 松岡隆志, "N 極性 GaN の成長とそのトランジスタへの展開", 第 78 回応用物理学会秋季学術講演会講演会, 「窒化物半導体特異構造の科学 ~ 先進 GaN 電子デバイスのための結晶成長・評価・応用 ~」, 6p-A301-5 (福岡国際会議場, 2017 年 9 月 5~8 日).
Kiattiwut Prasertsuk, Akinori Miura, Shinji Tanaka, Tomoyuki Tanikawa, Takeshi Kimura, Shigeyuki Kuboya, Tetsuya Suemitsu, Takashi Matsuoka, "Reduced Gate Leakage Current in N-Polar GaN Metal-Insulator-Semiconductor High Electron Mobility Transistors", 第 64 回応用物理学会春季学術講演会, 15p-315-11 (パシフィコ横浜, 2017 年 3 月 15 日).
招待講演 松岡隆志, "窒化物半導体における窒素極性成長", 第 77 回応用物理学会秋季学術講演会, シンポジウム「窒化物半導体の最前線 ~ 欠陥のない結晶・デバイスを目指して ~」, 14p-A21-4 (朱鷺メッセ, 2016 年 9 月 13~16 日).
Ryohei Nonoda, Tomoyuki Tanikawa, Kanako Shojiki, Takeshi Kimura, Shinji Tanaka, Shigeyuki Kuboya, Ryuji Katayama, Takashi Matsuoka, "Dependence of Group-III Source Ratio on Photoluminescence of N-Polar (0001) InGaN Grown by Metalorganic Vapor Phase Epitaxy", 第 35 回電子材料シンポジウム, We1-14 (ラフォーレ琵琶湖, 2016 年 7 月 6~8 日).
野々田亮平, 谷川智之, 正直花奈子, 木村健司, 窪谷茂幸, 片山竜二, 松岡隆志, "N 極性 (0001) InGaN における局所発光の III 族原料供給比依存性", 第 8 回窒化物半導体結晶成長講演会, Mo-2 (京都大学, 2016 年 5 月 9~10 日).

〔図書〕(計 1 件)

Takashi Matsuoka, Yoshihiro Kangawa, Springer Verlag, Epitaxial Growth of III-Nitride Compounds ~Computational Approach~, Springer Series in Materials Science, Vol. 269, 2018, 223.

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)
取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.matsuoka-lab.imr.tohoku.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名: 花田 貴

ローマ字氏名: HANADA Takashi

所属研究機関名: 東北大学

部局名: 金属材料研究所

職名: 助教

研究者番号 (8 桁): 80211481

研究分担者氏名: 谷川 智之

ローマ字氏名: TANIKAWA Tomoyuki

所属研究機関名: 東北大学

部局名: 金属材料研究所

職名: 講師

研究者番号 (8 桁): 90633537